中国生态农业学报 2016 年 10 月 第 24 卷 第 10 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Oct. 2016, 24(10): 1401−1408
ChinaXiv合作期刊

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160355

温度对红色型豌豆蚜生长发育和繁殖的世代累积效应*

孙小玲 刘长仲**

(甘肃农业大学植物保护学院 兰州 730070)

摘 要 为了探明温度对红色型豌豆蚜的世代累积效应，为利用生态措施防治豌豆蚜提供理论依据，本研究在人工设置的 5 个温度条件下(12 ℃、17 ℃、22 ℃、25 ℃和 28 ℃)调查了红色型豌豆蚜连续 3 代的生长发育、繁殖力及生命表等。研究结果表明：红色型豌豆蚜在 12 ℃时 F_2 代的若虫期较 F_0 和 F_1 代分别缩短 16.0%和 6.8%，而 22 ℃和 25 ℃下若虫期在 3 代间无显著差异；12 ℃时世代历期在 F_2 代较 F_0 和 F_1 代分别缩短 10.5%和 12.4%，17 ℃、22 ℃和 25 ℃条件下世代历期在 3 代间差异不显著。在 12 ℃下红色型豌豆蚜 F_2 代平均产蚜量较 F_0 和 F_1 代降低；而在持续高温 25 ℃条件下后代繁殖力下降幅度最大，F_1 和 F_2 代平均产蚜量较 F_0 代分别下降 49.3%和 50.9%，22 ℃下 F_1 和 F_2 代产蚜量与 F_0 代无显著差异。连续饲养红色型豌豆蚜，其成蚜体重在 12 ℃和 25 ℃下受影响最小，体重在 3 代间无显著差异；22 ℃下 F_1 代成蚜体重显著高于 F_0 和 F_2 代，12 ℃时体质量增长率有随代数增加逐代增长的趋势。随世代数增加红色型豌豆蚜在 12 ℃和 25 ℃条件下净增殖力(R_0)降低、平均世代周期(T)缩短；25 ℃时 F_1 和 F_2 代的内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)都较 F_0 代显著增长。表明在连续较低温或较高温胁迫下，红色型豌豆蚜后代繁殖力下降，体重无明显变化，但发育历期缩短，内禀增长率和周限增长率增长，表现出极强的环境适应能力，这可能是其种群数量上升的原因之一。

关键词 红色豌豆蚜 温度 世代 繁殖力 体重 种群 累积效应
中图分类号: S435.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)10-1401-08

Cumulative effect of temperature on the growth, development and reproduction of red pea aphid (*Acyrthosiphon pisum* Harris) among different generations*

SUN Xiaoling, LIU Changzhong**

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract To determine the cumulative effect of temperatures on the growth, development and reproduction of red pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*), and further provide scientific theory for using ecological treatment on pea aphid, we studied the life tables of 3 continuous generations of red pea aphid through indoor observation under five temperature regimes (12 ℃, 17 ℃, 22 ℃, 25 ℃ and 28 ℃). Results showed that the nymph stage of F_2 generation shortened by 16.0% and 6.8% compared with F_0 and F_1 generations at 12 ℃. There was no significant difference among three generations at 22 ℃ and 25 ℃. Respectively, F_2 generation time reduced by 10.5% and 12.4% compared with F_0 and F_1 at 12 ℃. There was no significant difference among three filial generations at 17 ℃, 22 ℃ and 25 ℃. The average reproduction of F_2 generation was significantly lower than those of F_0 and F_1 at 12 ℃. Also, offspring fertility obviously declined in continuous high temperature of 25 ℃. The average reproduction of F_1 and F_2 decreased by 49.3% and 50.9% respectively compared with F_0. Also the fecundities of both F_1 and F_2 aphids were not significantly different compared with that F_0 at 22 ℃. Continuous feeding of red pea aphid and the related gained weight were affected by the minimum at 12 ℃ and 25 ℃ among all treatments, and there

* 国家自然科学基金项目(31260433)和高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20136202110007)资助
** 通讯作者：刘长仲，主要研究方向为昆虫生态与农业害虫综合防治。E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn
孙小玲，研究方向为农业害虫综合防治。E-mail: 404095242@qq.com
收稿日期：2016−04−16 接受日期：2016−05−12

* The work was supported by the National Natural Sciences Foundation of China (31260433) and the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (20136202110007).
** Corresponding author, E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn
Received Apr. 16, 2016; accepted May 12, 2016

chinaXiv:201711.01715v1

ChinaXiv合作期刊

was no significant difference in weight among three generations. The weight of F_1 generation was significantly higher than those of F_0 and F_2 generations at 22 ℃, furthermore, the body weight growth rate apparently increased with the number of generations at 12 ℃. With increasing generations, under 12 ℃ and 25 ℃, net reproductive rate (R_0) and generation time (T) of red pea aphid respectively declined and shortened. The intrinsic increase rate (r_m) and finite increase rate (λ) of F_1 and F_2 generations increased significantly compared with F_0 under 25 ℃. This showed that in continuous low temperature or high temperature stress, offspring fertility of red pea aphid declined. However, developmental duration shortened and with no significant changes in body weight. The intrinsic increase rate (r_m) and finite increase rate (λ) increased, showing a strong adaptive capacity to the environment. This was one of the reasons for the rise of filial population of red pea aphid.
Keywords Red *Acyrthosiphon pisum*; Temperature; Generation; Fertility; Body weight; Population; Accumulative effect

chinaXiv:201711.01715v1

近年来由于温室气体浓度升高而引起全球气候变暖，寄主植物体内的碳氮比等营养组分由此而改变，从而间接影响到植食性昆虫的生命活动[1−4]。昆虫是变温动物，气候变暖必然加快昆虫的生长发育，也导致农业害虫发生期提前[5]，而害虫又是影响农业生产的重要因子，它的发生直接导致农作物减产。豌豆蚜(*Acyrthosiphon pisum*)是豆科作物上的重要害虫[6−7]，刺吸植物韧皮部并吸食汁液[8−9]，使植物出现畸形生长、早衰甚至死亡等现象[10−11]。另外，蚜虫分泌的蜜露覆盖在叶片表面，影响植物的光合作用，还可以传播多种植物病毒并导致植物病害的流行，对农作物、牧草和蔬菜等作物的生长造成不良的影响[12−13]。豌豆蚜繁殖力强，世代重叠现象突出，特别是在适宜温度下可全年为害[14]，尤其是红色型豌豆蚜比例正逐年上升，且田间红色型豌豆蚜比绿色型豌豆蚜出现时间晚，危害时间长[15−16]。邓明明等[17]认为温度影响麦长管蚜(*Sitobion avenae*)体色的变化，姚建秀等[18]指出紫外条件能引起麦长管蚜种下分化并诱导其 DNA 的变异，胡祖庆等[19]探求了紫外辐射对蚜虫种下体色分化及遗传中的作用。由于红色型豌豆蚜可见度高，因而易被天敌捕食，在此不利条件下，其仍能够长期存在，并且比例逐年上升。因此，研究红色型豌豆蚜不同世代的种群数量动态变化、生物学特性，了解红色型豌豆蚜对环境的适生性，对探明温度影响红色型豌豆蚜种群数量动态变化规律和累积效应具有重要意义。

温度作为影响蚜虫发育速率和种群动态的关键非生物因素，相关研究已有很多。Jalali 等[20]指出在不同温度下麦双尾蚜(*Diuraphis noxia*)繁殖力差异较大；研究表明在一定温度范围内，棉蚜(*Aphis gossypii*)和豌豆蚜发育速率随温度升高而显著加快[21−22]；Randolph 等[23]的研究揭示了麦蚜内禀增长率也随温度升高而增大，种群加倍时间和世代周期随温度升高而不断缩短；在不同寄主植物上豌豆蚜发育历期存在显著差异[24]；在不同温度下饲养绣线菊蚜(*Aphis citricola*)的结果也表明其各阶段发育历期随温度的升高而缩短[25]；吴孔明等[26]饲养第 1 代棉蚜，发现随着温度升高发育历期迅速缩短，且其发育速率呈幂函数曲线形式增加，而第 2 代则呈抛物线变化；宫亚军等[27]指出豆蚜(*Aphis craccivora*)、豌豆蚜、豌豆修尾蚜(*Megoura japonica*) 3 种蚜虫的最适发育温度为 19~23 ℃；温度高于 24 ℃时，红色型豌豆蚜的净增殖率显著低于 16~20 ℃，说明较低温度利于红色型豌豆蚜的生长[28]。尽管学者对豌豆蚜做了大量相关研究，但就温度对红色型豌豆蚜生长发育和繁殖的世代累积效应尚无系统分析。本试验以蚕豆(*Vicia faba*)为寄主植物，研究了不同温度下连续 3 代红色豌豆蚜生物学特性，以期探明温度对红色型豌豆蚜种群数量动态的累积影响，为利用生态措施防治豌豆蚜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

于 2014 年 5 月初在甘肃农业大学无药剂喷施的苜蓿(*Medicago sativa*)地中收集红色型豌豆蚜，将其置于温度(22±1) ℃，光照时间 L∶D=16 h∶8 h，湿度为(60±10)%的光照培养箱中饲养，以 10 cm 高的蚕豆幼苗为食料。取 6 h 内的初产若蚜作为供试虫源。

1.2 试验方法

将初产若蚜接于 10 cm 高的盆栽蚕豆植株上，每盆 2 株蚕豆植株，每株豆苗接 10 头若蚜，在植株根部套上一张折叠成漏斗状的白纸(用于接住蚜虫褪落的皮)。将其分别放入 6 ℃、12 ℃、17 ℃、22 ℃、25 ℃和 28 ℃，湿度为(60±10)%，光照 L∶D=16 h∶8 h 的环境中饲养，每个温度水平重复 3 次。F_0 代和 F_1 代开始产蚜后，记录成蚜每日产蚜数，并定时将植株上所产若蚜移除。其中取 F_0 与 F_1 代产蚜高峰期的若蚜，用于观察 F_1 代与 F_2 代的发育历期及繁殖情况，饲养条件同上。在 F_0 代、F_1 代和 F_2 代每 12 h 观察 1 次，记录蚜虫的存活状况、蜕皮时间和次数，并将所蜕皮屑移除。对 F_0 代、F_1 代和 F_2 代初产 1

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.01715v1

龄若蚜称重(W_1), 当若蚜发育为成蚜后再次称重(W_2), 计算体质量差(d_W)、发育历期(DD)及相对日均体质量增长率(MRGR):

$$d_W=W_2-W_1 \tag{1}$$

$$\mathrm{MRGR}=\frac{\ln W_2-\ln W_1}{\mathrm{DD}} \tag{2}$$

1.3　生命表参数计算方法

组建红色型豌豆蚜种群生命表, 统计出净增殖率(R_0)、平均世代周期(T)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)等种群动态参数[29]。

1.4　数据处理

利用 SPSS 19.0 进行数据统计分析(邓肯新复极差法), Microsoft Excel 2007 制表。

2　结果与分析

2.1　温度对红色型豌豆蚜不同世代发育历期的影响

红色型豌豆蚜 F_0 代在 12~28 ℃范围内均能完成发育, F_1 代在 28 ℃时不能正常发育(表 1)。F_0、F_1 和 F_2 代在 12~22 ℃范围内, 随着温度升高若虫期缩短。F_0 代在 12 ℃时, 若虫期为 16.92 d, 显著长于其他 4 个温度(P<0.05); 世代历期随温度的升高不断缩短, 在 12 ℃、17 ℃条件下显著长于 22 ℃、25 ℃和 28 ℃。在 F_1 代和 F_2 代, 12 ℃时若虫期显著长于 17 ℃、22 ℃和 25 ℃。红色型豌豆蚜 F_1、F_2 代若虫期和世代历期呈现的规律和 F_0 代基本一致, 温度越低世代历期越长。

在 12 ℃下红色型豌豆蚜若虫期随世代数递增而逐渐缩短, F_2 代的若虫期较 F_0 和 F_1 代分别缩短 16.0% 和 6.8%, 17 ℃时 F_2 代的若虫期较 F_0 和 F_1 代分别延长 13.3%和 8.1%; 而在 22 ℃和 25 ℃下红色型豌豆蚜亲代和子代间若虫期无明显变化。成虫期在 22 ℃时和若虫期呈相同的规律, 在 25 ℃时 F_1 和 F_2 代的成虫期较 F_0 代显著缩短, 分别缩短了 6.8%和 6.4%。12 ℃时世代历期在 F_2 代与 F_0 和 F_1 代间差异显著(P<0.05), F_2 代较 F_0 和 F_1 代分别缩短 10.5%和 12.4%, 而 F_0 和 F_1 代间差异不显著; 在 17 ℃、22 ℃和 25 ℃下红色型豌豆蚜世代历期在亲代和子代间差异不显著。

表 1　温度对红色型豌豆蚜不同世代发育历期的影响

Table 1　Effect of temperatures on the development time of red pea aphid different generations

温度 Temperature (℃)	代数 Generation	1 龄 1st stage	2 龄 2nd stage	3 龄 3rd stage	4 龄 4th stage	若虫期 Nymph stage	成虫期 Adult stage	世代历期 Generation duration (d)
12	F_0	3.03±0.05Aa	3.86±0.16Aa	4.38±0.27Aa	5.65±0.34Aa	16.92±0.21Aa	15.25±0.65Aab	32.16±0.54Aa
	F_1	3.24±0.08Aa	3.67±0.06Aab	3.69±0.30Aab	4.65±0.17Ab	15.26±0.37Ab	17.61±0.88Aa	32.86±0.83Aa
	F_2	3.12±0.24Aa	3.29±0.21Ab	3.41±0.10Ab	4.38±0.17Ab	14.21±0.24Ac	14.58±0.54ABb	28.79±0.41Ab
17	F_0	2.68±0.15Ba	2.38±0.14Ba	2.51±0.18Ba	2.72±0.10Bb	10.30±0.24Bb	15.88±1.23Aa	26.18±1.47Ba
	F_1	2.25±0.11Ba	2.71±0.24Ba	2.97±0.16Ba	2.86±0.13Bb	10.79±0.18Bb	17.06±0.50ABa	27.85±0.64Ba
	F_2	2.33±0.19Ba	2.87±0.27Aa	2.95±0.08Ba	3.52±0.04Ba	11.67±0.15Ba	16.06±0.77Aa	27.73±0.62Aa
22	F_0	1.73±0.10Ca	1.42±0.13CDa	1.30±0.09Cb	1.84±0.03Ca	6.30±0.15Ca	12.87±0.24Ba	19.17±0.20Ca
	F_1	1.51±0.02Ca	1.55±0.09Ca	1.61±0.02Ca	1.86±0.09Ca	6.53±0.10Ca	14.85±1.10Ba	21.38±1.09Ca
	F_2	1.63±0.04Ca	1.43±0.12Ba	1.44±0.07Cab	1.68±0.08Ca	6.18±0.015Ca	14.13±0.16Ba	20.31±0.09Ba
25	F_0	1.41±0.11Da	1.69±0.02Ca	1.27±0.01Cb	1.72±0.08Ca	6.08±0.11Ca	12.23±0.24Ba	18.32±0.20Ca
	F_1	1.44±0.07Ca	1.47±0.02Cb	1.54±0.02Ca	1.76±0.05Ca	6.21±0.02Ca	11.40±0.13Cb	17.61±0.14Da
	F_2	1.44±0.02Ca	1.41±0.05Bb	1.46±0.05Ca	1.84±0.03Ca	6.15±0.10Ca	11.45±0.27Cb	17.60±0.26Ba
28	F_0	1.32±0.05D	1.23±0.03D	1.33±0.11C	1.39±0.11C	5.26±0.19D	7.08±0.22C	12.34±0.24D
	F_1	—	—	—	—	—	—	—
	F_2	—	—	—	—	—	—	—

不同大写字母表示同一世代不同温度间差异显著(P<0.05), 不同小写字母表示同一温度不同世代间差异显著(P<0.05)。表中数据为平均值±标准差。下同。Different capital letters indicate significant differences among different temperatures within the same generation (P < 0.05), different lowercase letters indicate significant differences among successive generations at the same temperature (P < 0.05). The data are mean ± S.D. The same below.

2.2　温度对红色型豌豆蚜不同世代繁殖力的影响

红色型豌豆蚜在 F_0、F_1 和 F_2 代随温度升高繁殖力先增加后下降, 在 22 ℃时产蚜量达到峰值(图 1)。在 F_0 代时, 12 ℃、17 ℃、22 ℃、25 ℃处理下平均产蚜量间差异显著(P<0.05), 28 ℃时对成虫的繁殖有明显抑制作用, 平均产蚜量仅 15.92 头。F_1 代时平均产蚜量在 12 ℃和 25 ℃下差异不显著, 其他处理间差异显著(P<0.05)。F_2 代在 22 ℃时产蚜量与其他 3 个温度处理间差异显著, 而在 12 ℃、17 ℃和 25 ℃处理下的产蚜量无显著差异。

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.01715v1

比较红色型豌豆蚜同一温度不同世代间的繁殖力发现: 12 ℃和 17 ℃下 F_2 代平均产蚜量较 F_0 代和 F_1 代显著降低, 而 F_0 和 F_1 代间差异不显著, 12 ℃时 F_2 代繁殖力较 F_0 和 F_1 代分别降低 30.6%和 27.4%, 17 ℃时 F_2 代繁殖力较 F_0 和 F_1 代分别降低 28.4%和 24.9%, 22 ℃下 F_1 和 F_2 代产蚜量较 F_0 代无显著差异, 25 ℃下 F_1 和 F_2 代平均产蚜量较 F_0 代分别下降 49.3%和 50.9%。

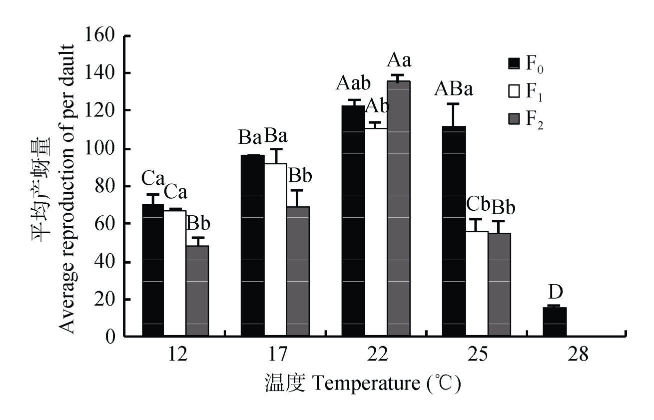


图 1 不同温度对红色型豌豆蚜不同世代间繁殖力的影响

Fig. 1 Effect of temperatures on the fecundity of red pea aphid different generations

不同大写字母表示同一世代不同温度间差异显著(P<0.05), 不同小写字母表示同一温度不同世代间差异显著(P<0.05). Different capital letters indicate significant differences among different temperatures for the same generation (P < 0.05), different lowercase letters indicate significant differences among successive generations at the same temperature (P < 0.05).

2.3 温度对红色型豌豆蚜不同世代体重及体质量增长率的影响

红色型豌豆蚜 F_0、F_1 和 F_2 代在不同温度条件下的成蚜体重见表 2。F_0 代以 17 ℃和 22 ℃体重最重, 与 12 ℃、25 ℃和 28 ℃体重差异显著(P<0.05), 12 ℃和 28 ℃体重无显著差异; F_1 和 F_2 代红色型成蚜体重均在 22 ℃下显著高于其他温度处理(P<0.05), F_1 代在 12 ℃、17 ℃和 25 ℃体重差异不显著(P>0.05), 在 F_2 代仅 12 ℃和 25 ℃间体重差异不显著(P>0.05); F_0、F_1 和 F_2 代相对日均体质量增长率在不同温度条件下差异较大, F_0 代在 28 ℃时相对日均体质量增长率最高, 与 22 ℃时的日均体质量增长率无显著差异, 显著高于其他温度(P<0.05), 这是由于高温条件下发育历期短, 有机物能在极短时间内大量积累, 体重增长速率较快。F_1 代和 F_2 代红色型豌豆蚜日均体质量增长率表现规律一致, 均在 22 ℃时日均体质量增长率显著高于 12 ℃、17 ℃和 25 ℃, 由于适温下其体重较重, 且发育历期也较短, 利于体重在短时间内增长。

连续饲养红色型豌豆蚜, 其成蚜体重在 12 ℃和 25 ℃下受影响较小, 体重在 3 代间无显著差异。22 ℃下 F_1 代成蚜体重显著大于 F_0 和 F_2 代(P<0.05), F_0 和 F_2 代间体重差异不显著。适宜温度利于豌豆蚜有机物在体内积累, 体重增重, 红色型豌豆蚜在较低温和较高温下也能很好地生长, 说明红色型豌豆蚜适应温度变化能力较强。同一温度不同世代红色型豌豆蚜相对日均体质量增长率表现为: 12 ℃时体质量增长率有随代数增加逐代增长的趋势, F_1 和 F_2 代较 F_0 代分别增长 13.9%、21.5%。22 ℃和 25 ℃条件下, 相对日均体质量增长率在 F_0、F_1 和 F_2 代间无显著变化。连续低温 12 ℃下红色型豌豆蚜也能较好地生长, 说明相对低温并不能完全抑制红色型豌豆蚜的生长。

表 2 温度对红色型豌豆蚜不同世代体重及体质量增长率的影响

Table 2 Effect of temperatures on the weight and relative growth rate of red pea aphid different generations

温度 Temperature (℃)	代数 Generation	平均体重 Average weight (mg)	体质量差 Weight difference (mg)	相对日均体质量增长率 Mean daily relative growth rate (%)
12	F_0	2.92±0.09Ca	2.71±0.09Ca	0.158±0.003Db
	F_1	3.10±0.01Ba	2.90±0.01Ba	0.180±0.005Da
	F_2	3.05±0.05Ca	2.85±0.05Ca	0.192±0.004Da
17	F_0	3.95±0.02Aa	3.75±0.02Ab	0.290±0.006Ca
	F_1	3.31±0.04Bb	3.11±0.04Bb	0.260±0.004Cb
	F_2	3.29±0.06Bb	3.09±0.06Ba	0.240±0.001Cc
22	F_0	4.13±0.05Ab	3.93±0.05Ab	0.481±0.013ABa
	F_1	4.57±0.10Aa	4.37±0.10Ab	0.480±0.009Aa
	F_2	4.33±0.02Ab	4.13±0.02Aa	0.498±0.012Aa
25	F_0	3.44±0.10Ba	3.24±0.10Ba	0.468±0.008Ba
	F_1	3.35±0.18Ba	3.15±0.18Bab	0.453±0.009Ba
	F_2	3.01±0.05Ca	2.80±0.05Cb	0.441±0.008Ba
28	F_0	2.98±0.05C	2.78±0.05C	0.495±0.006A
	F_1	—	—	—
	F_2	—	—	—

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.01715v1

2.4 温度对红色型豌豆蚜不同世代种群生命表的影响

根据红色型豌豆蚜各年龄组的存活率和净产蚜量建立实验种群生命表(表 3)。F_0、F_1和 F_2代净增殖率(R_0)在 12~22 ℃随温度升高而增加，在高温 25 ℃时又开始下降，各代净增殖率(R_0)都在 22 ℃时达到最大值。F_0代 28 ℃净增殖率(R_0)最低为 8.92。F_0代平均世代周期(T)在 12~28 ℃范围内随温度升高先缩短后延长(25 ℃为转折点)，而当温度达到 28 ℃时，T急剧缩短；F_1和 F_2代的 T在 12~25 ℃范围内基本随温度升高而逐渐缩短。F_0代内禀增长率(r_m)在 12~28 ℃随温度升高先增长后降低，22 ℃时 r_m显著高于其他温度(P<0.05)；F_1代 22 ℃的 r_m大于其他 3 个温度下的 r_m，而 12 ℃与 17 ℃间的 r_m差异不显著；F_2代 r_m在 12~25 ℃范围内基本随温度升高而增加，但 22 ℃与 25 ℃间 r_m差异不显著。在 5 个温度处理下，F_0、F_1和 F_2代周限增长率(λ)与内禀增长率(r_m)呈现的规律一致。

17 ℃和 22 ℃的净增殖率(R_0)在各世代间并无明显变化(表 4)，12 ℃的 R_0在 F_2代较 F_0和 F_1代分别降低 38.9%和 50.1%；25 ℃的 R_0在 F_1和 F_2代较 F_0代分别降低 49.7%和 50.2%，差异显著(P<0.05)。12 ℃和 25 ℃的平均世代周期(T)在 F_1和 F_2代较 F_0代显著缩短(P<0.05)，而 T在 F_1与 F_2代间差异不显著；17 ℃和 22 ℃的 T在 F_0和 F_2代间无显著差异。17 ℃的内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)在 F_1和 F_2代都较 F_0代降低，差异显著(P<0.05)，但在 F_1和 F_2代间无显著差异。22 ℃条件下，F_1和 F_2代内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)与 F_0代没有显著差异(P>0.05)；25 ℃时，F_1和 F_2代的内禀增长率 r_m值和周限增长率(λ)都较 F_0代显著增长(P<0.05)，但在 F_1和 F_2代间差异不显著。

表 3　温度对红色型豌豆蚜不同世代生命表参数的影响
Table 3　Effect of temperatures on the life table parameters of red pea aphid different generations

温度 Temperature (℃)	代数 Generation	净增殖率(R_0) Net reproductive rate	平均世代周期(T) Generation time	内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	周限增长率(λ) Finite rate of increase
12	F_0	33.68±7.24Cab	26.57±0.35Aa	0.130±0.007Cb	1.139±0.008Cb
	F_1	41.26±4.05Ba	23.06±1.00Ab	0.161±0.007Ca	1.175±0.008Ca
	F_2	20.57±2.12Cb	21.21±0.79Ab	0.142±0.005Cab	1.153±0.006Cab
17	F_0	50.43±4.67BCa	18.57±0.72Bb	0.211±0.004Ba	1.235±0.005Ba
	F_1	44.20±3.68Ba	21.88±0.45Aa	0.173±0.000Cb	1.189±0.001Cb
	F_2	36.78±6.42Ba	19.76±0.50Ab	0.180±0.006Bb	1.198±0.007Bb
22	F_0	75.51±3.75Aa	13.41±0.47Cab	0.323±0.012Aab	1.382±0.017Aab
	F_1	75.80±7.91Aa	12.27±0.40Bb	0.352±0.005Aa	1.422±0.007Aa
	F_2	71.50±2.96Aa	13.89±0.36Ba	0.308±0.009Ab	1.361±0.012Ab
25	F_0	59.18±8.34ABa	17.40±0.36Ba	0.234±0.008Bb	1.263±0.010Bb
	F_1	29.72±3.78Bb	12.42±0.59Bb	0.272±0.008Ba	1.313±0.011Ba
	F_2	29.43±0.29BCb	11.43±0.39Cb	0.297±0.009Aa	1.345±0.012Aa
28	F_0	8.92±0.14D	10.37±0.37D	0.212±0.009B	1.236±0.11B
	F_1	—	—	—	—
	F_2	—	—	—	—

3 讨论和结论

温度是决定昆虫生长发育速率的主要因子，随气温升高昆虫各虫态的发育速率加快，致使其首次出现时间、迁飞时间和种群高峰期提前。1986—2006 年间，甘肃省古浪县区域的麦长管蚜由于适宜温度的提前出现，其从低海拔向高海拔地区迁飞时间提前，高峰期种群数量上升，为害程度加重[30]。生长季变暖利于农业害虫的为害期延长，豌豆蚜作为豆科作物上的重要害虫也有类似的现象。生命表技术是研究种群数量变动机制，评价各种害虫防治措施，制定数量预测模型和实施害虫科学管理的一种重要方法[31]。因此，本研究应用此方法评价温度对豌豆蚜连续世代生长发育的影响是实用可靠的。

本研究以不同温度连续胁迫红色型豌豆蚜 3 代，获得了发育历期、产蚜量、净增殖率、内禀增长率和平均世代周期等生物学参数，以明确温度胁迫对红色型豌豆蚜生物学特性的影响，了解甘肃省内红色型豌豆蚜种群上升的原因。研究结果表明，不同温度条件下红色型豌豆蚜生长、发育和繁殖存在较

ChinaXiv合作期刊
chinaXiv:201711.01715v1

大差异。F_0、F_1和F_2代若虫期在 12~22 ℃范围内随温度升高而缩短，说明温度升高可以促进豌豆蚜生长发育速率加快，这可能是因为温度升高能够提高昆虫体内酶和激素的活性，从而促使昆虫体内生化反应加快[32–34]。在高温 28 ℃下F_1代若蚜死亡率高，且不能完成发育，表明高温对红色型豌豆蚜的生长发育有抑制作用，这与 Morgan 等[21]和杜军利等[28]研究结果相似。红色型豌豆蚜在 12 ℃时若虫期随世代数递增逐渐缩短，17 ℃时F_2代的若虫期较F_0和F_1代延长，在 17 ℃、22 ℃和 25 ℃下世代历期在 3 代间差异不显著，而在相对低温 12 ℃下发育历期随世代数增加而缩短，说明相对低温并不能抑制红色型豌豆蚜的发育，发育时间短利于其种群数量的增长。红色型豌豆蚜F_0、F_1和F_2代在 12~25 ℃间繁殖力随温度升高先增加后下降，F_0代繁殖力在 28 ℃时急剧下降。在 12 ℃和 17 ℃下红色型豌豆蚜F_2代平均产蚜量较F_0和F_1代有所下降，而在持续高温 25 ℃条件下后代繁殖力下降幅度最大。红色型成蚜F_0、F_1和F_2代体重均在 22 ℃下达最大值。F_0代在 28 ℃时相对日均体质量增长率最高，这是由于高温条件下发育历期短，利于有机物能在极短时间内大量积累，体重增长速率较快。在F_1代和F_2代红色型豌豆蚜日均体质量增长率表现的规律一致，均在 22 ℃时日均体质量增长率显著高于 12 ℃、17 ℃和 25 ℃，由于适温下其体重较重，且发育历期也较短，利于体重在短时间内增长。连续饲养红色型豌豆蚜，其成蚜体重在 12 ℃和 25 ℃下受影响最小，体重在 3 代间无显著差异。22 ℃下F_1代成蚜体重显著高于F_0和F_2代，适宜温度利于豌豆蚜有机物积累致使体重增加。12 ℃时体质量增长率有随代数增加逐代增长的趋势，说明红色型豌豆蚜在较低温下能很好地生长，适应温度变化的能力较强。

净增殖力(R_0)、平均世代周期(T)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)是评价特定环境中种群变化的重要参数[31]。红色型豌豆蚜F_0、F_1和F_2代净增殖率(R_0)在 12~22 ℃随温度升高而增大，在 25 ℃时又开始下降，各代净增殖率(R_0)都在 22 ℃时达到最大值；随世代数增加，红色型豌豆蚜在 12 ℃和 25 ℃条件下R_0降低、T缩短，世代周期缩短利于种群数量在短时间内增长，出现这种现象可能与豌豆蚜的抗逆反应有关[35–36]。25 ℃时F_1和F_2代的内禀增长率r_m值和周限增长率(λ)都较F_0代显著增长，这可能是 r 对策类害虫的一种应激反应，当高温干旱时，豌豆蚜以种群密度的迅速增大来应付可能到来的高死亡率，以求种群生存[23]。在低温或较高温连续胁迫下，红色型豌豆蚜后代繁殖力下降，但发育时间缩短，体重无明显变化，内禀增长率和周限增长率增长，表现出很强的环境适应能力，这可能是其种群数量上升的原因之一。

本试验是在不同温度条件下生长的蚕豆植株上研究了红色型豌豆蚜的实验种群生命表，试验结果能够切实反映红色型豌豆蚜在植株或田间的生长发育及种群动态变化情况。本文仅探讨了温度对红色型豌豆蚜连续 3 代生物学参数的影响。有关温度对豌豆蚜蛋白、脂肪、氨基酸及相关体内物质和分子机理等方面的影响还需进一步探讨，以便为今后豌豆蚜的预测预报及防治工作提供更加可靠的理论依据。

参考文献 References

[1] Stacey D A. The effects of climate change on invasive insect pests in the UK[J]. Antenna, 1999, 23(4): 254–256

[2] 戈峰，陈法军. 大气 CO_2 浓度增加对昆虫的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 935–944
Ge F, Chen F J. Impacts of elevated CO_2 on insects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 935–944

[3] 宋琰，肖能文，戈峰. 大气 CO_2 升高和蚯蚓活动对土壤 C、N 的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2922–2928
Song Y, Xiao N W, Ge F. Influence of earth worm on C & N content in soil under elevated CO_2[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2922–2928

[4] Gray D R. Relationship between climate and outbreak characteristics of the spruce bud worm in eastern Canada[J]. Climatic Change, 2008, 87(3/4): 361–383

[5] 杜尧，马春森，赵清华，等. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1565–1572
Du Y, Ma C S, Zhao Q H, et al. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: A literature review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1565–1572

[6] 贺春贵，姚拓，刘长仲，等. 苜蓿病虫草鼠害防治[M]. 北京：中国农业出版社, 2004
He C G, Yao T, Liu C Z, et al. The Prevention and Control of Damages of Disease, Pest, Weed and Rodent of Alfalfa[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004

[7] 马亚玲，刘长仲. 蚜虫的生态学特性及其防治[J]. 草业科学, 2014, 31(3): 519–525
Ma Y L, Liu C Z. Review on ecological characteristics and control of aphids[J]. Pratacultural Science, 2014, 31(3): 519–525

[8] 吕宁，刘长仲. 不同抗生素对豌豆蚜生物学特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(2): 208–216
Lü N, Liu C Z. Effect of different antibiotics on the biological characteristics of pea aphid[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(2): 208–216

[9] 黄晓磊，乔格侠. 蚜虫学研究现状与学科发展趋势[J]. 昆虫学报, 2006, 49(6): 1017–1026

ChinaXiv合作期刊

Huang X L, Qiao G X. Research status and trends in aphidology[J]. Acta Entomologica Sinica, 2006, 49(6): 1017–1026

[10] 武德功, 贺春贵, 刘长仲, 等. 不同苜蓿品种对豌豆蚜的生化抗性机制[J]. 草地学报, 2011, 19(3): 497–501
Wu D G, He C G, Liu C Z, et al. Biochemical resistance mechanism of *Medicago sativa* to *Acyrthosiphon pisum*[J]. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(3): 497–501

[11] 高有华, 刘长仲. 不同温度下的豌豆蚜实验种群生命表研究[J]. 植物保护, 2008, 34(4): 57–59
Gao Y H, Liu C Z. Life table of the experimental population of *Acyrthosiphon pisum* (Harris) at different temperatures[J]. Plant Protection, 2008, 34(4): 57–59

[12] 王小强, 韩秀楠, 曹馨月, 等. 豌豆品种对绿色型豌豆蚜种群参数的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(8): 1004–1008
Wang X Q, Han X N, Cao X Y, et al. Effects of different garden pea cultivars on population parameters of green morph of pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*)[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(8): 1004–1008

[13] 忤均祥. 农业昆虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
Wu J X. Agricultural Entomology[M]. Beijing: China Agricul-ture Press, 2002

[14] 王鑫. 苜蓿主要虫害发生规律及防治对策[J]. 四川草原, 2004(4): 57–58
Wang X. The main pests occurrence regularity and control measures of alfalfa[J]. Journal of Sichuan Grassland, 2004(4): 57–58

[15] 金娟, 王森山, 贺春贵. 西北不同地理种群红色型豌豆蚜的遗传多样性[J]. 草地学报, 2013, 21(2): 406–412
Jin J, Wang S S, He C G. Genetic diversities of *Acyrthosiphon pisum* (Harris) (pink form) populations from different geographic regions in the Northwest of China[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(2): 406–412

[16] 杜军利, 武德功, 张廷伟, 等. 紫外线(UV-B)辐射对不同色型豌豆蚜生物学特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1626–1630
Du J L, Wu D G, Zhang T W, et al. Effects of UV-B radiation on biological characteristics of different color pea aphid morphs (*Acyrthosiphon pisum*)[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(11): 1626–1630

[17] 邓明明, 高欢欢, 李丹, 等. 温度对麦长管蚜体色变化的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7203–7210
Deng M M, Gao H H, Li D, et al. Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7203–7210

[18] 姚建秀, 赵惠燕. 紫外条件诱导下麦长管蚜 DNA 的变异研究[J]. 西北农业学报, 2001, 10(1): 33–36
Yao J X, Zhao H Y. Study on the DNA mutation of wheat aphid under the ultraviolet[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2001, 10(1): 33–36

[19] 胡祖庆, 亢菊侠, 赵惠燕, 等. 不同紫外(UV-B)辐射时间对两种体色型麦长管蚜后代生物学特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1812–1816
Hu Z Q, Kang J X, Zhao H Y, et al. Effect of UV-B radiation on biological characteristics of two body color biotypes of *Sitobion avenae* (Fab.) off spring[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(7): 1812–1816

[20] Jalali M A, Tirry L, Arbab A, et al. Temperature-dependent development of the two-spotted ladybeetle, *Adalia bipunctata*, on the green peach aphid, *Myzus persicae*, and a factitious food under constant temperatures[J]. Journal of Insect Science, 2010, 10(124): 1–14

[21] Morgan D, Walters K F A, Aegerter J N. Effect of temperature and cultivar on pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) life history[J]. Bulletin of Entomological Research, 2001, 91(1): 47–52

[22] Satar S, Kersting U, Uygun N. Effect of temperature on development and fecundity of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cucumber[J]. Journal of Pest Science, 2005, 78(3): 133–137

[23] Randolph T L, Merrill S C, Peairs F B. Reproductive rates of Russian wheat aphid (Hemiptera: Aphididae) biotypes 1 and 2 on a susceptible and a resistant wheat at three temperature regimes[J]. Journal of Economic Entomology, 2008, 101(3): 955–958

[24] 韩秀楠, 王小强, 赵林平, 等. 不同寄主植物对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 40–43
Han X N, Wang X Q, Zhao L P, et al. Effects of host plants on the growth, development and fecundity of *Acyrthosiphon pisum*[J]. Plant Protection, 2012, 38(1): 40–43

[25] Wang S B, Zheng J W, Wu J X. Effects of temperatures on laboratory population of *Aphis citricola* Van der Goot (Homoptera: Aphididae)[J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(5): 71–75

[26] 吴孔明, 刘芹轩. 温度对棉蚜生命参数影响的研究[J]. 棉花学报, 1992, 4(1): 61–68
Wu K M, Liu Q X. Influence of temperatures on population increase of cotton aphid, *Aphis gossypii*[J]. Acta Gossypii Sinica, 1992, 4(1): 61–68

[27] 宫亚军, 石宝才, 路虹, 等. 温度对 3 种蚜虫生长发育及繁殖的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(5): 96–98
Gong Y J, Shi B C, Lu H, et al. Effects of temperatures on the development and fecundity of three species of aphids[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(5): 96–98

[28] 杜军利, 武德功, 吕宁, 等. 不同温度条件下两种色型豌豆蚜的种群参数[J]. 草业学报, 2015, 24(11): 91–99
Du J L, Wu D G, Lü N, et al. Population parameters of two pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*) color morphs at different temperatures[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(11): 91–99

[29] 刘长仲. 二斑叶螨实验种群生命表的组建与分析[J]. 植物保护, 2000, 26(4): 15–17
Liu C Z. Construction and analysis of the population life table of *Tetranychus urticae* Koch on chili plant[J]. Plant Protection, 2000, 26(4): 15–17

[30] 刘明春, 蒋菊芳, 魏育国, 等. 气候变暖对甘肃省武威市主要病虫害发生趋势的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9522–9525
Liu M C, Jiang J F, Wei Y G, et al. Influences of climate

chinaXiv:201711.01715v1

ChinaXiv合作期刊

warming on main diseases and insect pests' occurrence trend in Wuwei City, Gansu Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(20): 9522–9525
[31] 刘长仲, 杜军利, 张廷伟, 等. 温度对三叶草彩斑蚜种群参数的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(7): 1927–1932
Liu C Z, Du J L, Zhang T W, et al. Effects of temperature on population parameters *Therioaphis trifolii* (Monell) (Homoptera: Aphididae)[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(7): 1927–1932
[32] Caillaud C M, Dedryver C A, Simon J C. Development and reproductive potential of the cereal aphid *Sitobion avenae* on resistant wheat lines (*Triticum monococcum*)[J]. Annals of Applied Biology, 1994, 125(2): 219–232
[33] 冯从经, 戴华国, 武淑文. 高温对褐飞虱体内保幼激素酯酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(2): 114–115
Feng C J, Dai H G, Wu S W. Effects of high temperature on juvenile hormone esterase activity in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2000, 23(2): 114–115
[34] 冯从经, 戴华国, 武淑文. 褐飞虱高温条件下应激反应及体内保护酶系活性的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 409–413
Feng C J, Dai H G, Wu S W. Stress response of *Nilaparvata lugens* at high temperature and activities of its protective enzyme systems[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(3): 409–413
[35] Wong Y Y, Ho C L, Nguyen P D, et al. Isolation of salinity tolerant genes from the mangrove plant, *Bruguiera cylindrica* by using suppression subtractive hybridization (SSH) and bacterial functional screening[J]. Aquatic Botany, 2007, 86(2): 117–122
[36] 杨传平, 王玉成, 刘桂丰, 等. 应用 SSH 技术研究 $NaHCO_3$ 胁迫下柽柳基因的表达[J]. 遗传学报, 2004, 31(9): 926–933
Yang C P, Wang Y C, Liu G F, et al. Study on gene expression of *Tamarix* under $NaHCO_3$ stress using SSH technology[J]. Acta Genetica Sinica, 2004, 31(9): 926–933

chinaXiv:201711.01715v1

欢迎征订 2017 年《草业学报》

《草业学报》由中国科学技术协会主管, 中国草学会、兰州大学主办, 国内外公开发行的高级学术期刊。2014 年《草业学报》的影响因子为 2.353, 在全国被统计的 1989 种期刊中排名第 10 位, 现入编全国中文核心期刊, 荣获“百强报刊”, “百种中国杰出学术期刊”, “中国精品科技期刊”, “中国科技论文在线优秀期刊一等奖”。

《草业学报》主要报道国内外草业科学及其相关领域, 如畜牧学、农学、林学、经济学等领域的高水平理论研究和技术创新成果, 发表国内外草业领域创新性的研究论文, 刊载学术价值较高的草业科学专论、综述、评论等, 探讨草业发展的新理论与新构思, 是草业新秀成长的园地, 推动草业科学发展的论坛。其读者对象主要是从事农林牧渔、园林绿化、生态环境、国土资源等领域的科研管理及教学等专业人员。

本刊为: 中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊, 中国科技论文统计源期刊, 英国 CABI 文摘数据库来源期刊, 《中国生物学文摘》数据库收录期刊, 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊, 《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊, 《万方数据—数字化期刊群》入网期刊。

《草业学报》为月刊, 全铜版印刷, 逢每月 20 日出版, 大 16 开本, 220 页, 定价 25 元, 全年 300 元。国内邮发代号: 54–84, 全国各地邮局均可订阅, 若错过订期, 可在本编辑部直接办理订阅。

邮发代号: 54-84; 国内刊号: CN 62-1105/S; 国际统一刊号: ISSN 1004-5759;

地址: 兰州市嘉峪关西路 768 号《草业学报》编辑部; 邮编: 730020;

网址: http://cyxb.lzu.edu.cn; 电话、传真: 0931-8913494; E-mail: cyxb@lzu.edu.cn